干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.05.04

基于模式参数化方案的塔中地区临界起沙阈值分析①

周成龙， 买买提艾力·买买提依明， 杨兴华， 杨 帆， 霍 文， 金莉莉， 何 清

（中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所塔克拉玛干沙漠大气环境试验观测站，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要： 利用2009年7月4日~29日塔中野外试验观测数据，基于MARTICORENA和SHAO提出的2种起沙模式参数化方案，初步探讨塔中地区不同沙尘天气临界起沙风速，所得结论如下：(1)非沙尘天气，沙尘撞击颗粒数≤10 000；扬沙天气，10 001≤沙尘撞击颗粒数≤20 000；沙尘暴天气，沙尘撞击颗粒数≥20 001。(2) 基于MARTICORENA起沙参数化方案，临界起沙风速的平均值为4.88 $m \cdot s^{-1}$，基于SHAO起沙参数化方案，临界起沙风速的平均值为6.24 $m \cdot s^{-1}$，临界起沙风速在非沙尘天气最大，在沙尘暴天气最小。(3) 在观测期间沙尘水平通量为732.9 $kg \cdot m^{-1}$，其中非沙尘天气125.2 $kg \cdot m^{-1}$，扬沙天气80.9 $kg \cdot m^{-1}$，沙尘暴天气526.8 $kg \cdot m^{-1}$，SHAO起沙参数化方案适合估算总沙尘水平通量以及非沙尘和扬沙天气的沙尘水平通量，MARTICORENA起沙参数化方案适合估算沙尘暴天气沙尘水平通量。

关 键 词： 临界起沙风速； 模式参数化方案； 塔中

中图分类号： P412.1 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000-6060(2018)05-0930-07(0930~0936)

土壤风蚀活动在干旱和半干旱地区时有发生[1]，它所产生的气溶胶是目前大气中气溶胶的主要来源[2]，并对全球物理、化学和生物循环产生重要影响[3]。临界起沙阈值是衡量土壤可蚀性的重要指标[4-5]，是沙尘暴模式中起沙参数化方案所涉及的关键参数[6-7]，是区分对流起沙和跃移起沙过程的前提和关键[8]。野外实验[9-10]、模式参数化[7,11-15]和统计学方法[16-19]是确定临界起沙阈值(临界起沙风速或临界起沙摩擦速度)的3种主要方法。通过这3种方法得到的结果彼此间可以相互对比和校验，且野外实验的实测结果可以为获得合适的起沙统计依据和改进起沙阈值的参数化方案提供基础。

在众多模式参数化方案中，MARTICORENA[7]和SHAO[20]提出的临界摩阻风速参数化方案(以下分别简称为M方案和S方案)应用最为广泛。本研究采用这2种方法，以2009年7月4~31日塔克拉玛干沙漠腹地塔中地区的野外观测数据为基础，研究不同沙尘天气条件下的临界起沙风速，并进行对比分析，讨论不同沙尘天气下的水平沙尘通量，初步给出适合研究区沙尘天气的临界起沙阈值参数化方案。研究结果有助于更加细致了解塔中地区的起沙机制，为沙漠及周边地区的荒漠化防治以及风沙预警提供科学依据。

1 研究区概况

塔克拉玛干沙漠是中国第一大沙漠，面积约337 600 km^2，它是世界上四大主要沙尘源地之一[21]。塔中地区(图1)位于塔克拉玛干沙漠中心，距离沙漠边缘约220 km左右，该地区地表由流沙覆盖，地表植被覆盖率极低且种类贫乏，群落结构简单。地表沙丘密布，风沙地貌宏观格局为一系列线状的高大复合型纵向沙垄与垄间地相间分布，沙垄走向为NNE~SSW或EN~SW方向，相对高度为40~50 m。垄间平坦地宽1~3 km，长2~5 km，高大沙垄的前缘分布有低矮的新月形沙丘和沙丘链[22]。根据塔中气象站多年整编观测资料，该区年

① **收稿日期：** 2018-04-11； **修订日期：** 2018-07-08
基金项目： 新疆气象局面上项目(MS201806)
作者简介： 周成龙(1986-)，男，助理研究员，硕士，研究方向为风沙物理. E-mail:592432611@qq.com
通讯作者： 何清. E-mail:qinghe@idm.cn

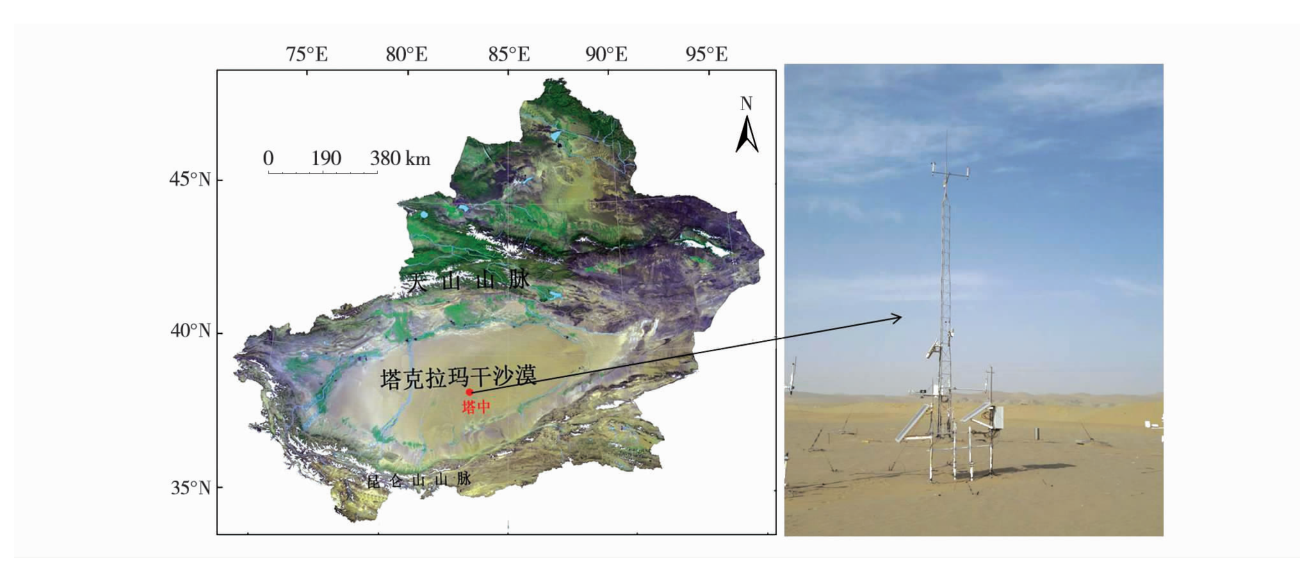


图 1 塔中地区地理位置示意图及塔中野外观测场

Fig. 1 Location of Tazhong area and the site of field experiments is in Tazhong area

平均蒸发量达 3 800 mm,年平均降水量仅 26 mm[23];大风和沙尘是这里的主要天气现象,年平均沙尘暴天数为 16 d[24],年平均沙尘指数高达 235[25]。

2 数据与方法

2.1 数据来源

观测设备位布设于裸露平坦沙地(图 1)。2 m 高度气象塔观测项目主要包括近地面风、温、湿等主要气象要素。2 m 高度 BSNE(Big Spring Number Eight)集沙仪,集沙盒的安装高度分别为 0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、2.0 m。近地表沙粒跃移由 Sensit ~ HLIN 型压电传感器监测,传感器的感应头安装高度距离地表 0.05 m;其工作原理是当地表跃移沙粒撞击在传感器感应头上时,感应器就会发出一个脉冲信号,数据采集器则会记录此信号,计为监测到一颗跃移沙粒。气象要素及沙粒跃移运动数据记录步长为 1 s,然后根据研究需要再处理成 min 或 h 数据。选取 2009 年 7 月 4 ~ 31 日的观测数据。Sensit ~ HLIN 型压电传感器虽然可以记录监测到的跃移撞击颗粒数,却不能获取跃移起沙量,YANG[26] 利用 BSNE 集沙仪获取的沙尘水平通量数据和压电式跃移传感器 0.05 m 处沙粒跃移撞击数拟合出二者在沙尘天气过程的输沙关系,基于此关系利用沙粒跃移撞击数可以估算出沙尘水平通量的观测值。观测场仪器设备型号如表 1 所示。

表 1 塔中地区气象观测系统

Tab. 1 Meteorological observation system at Tazhong

观测项目	传感器类型
风、温、湿	WAA151:Vaisala, Vantaa, Finland
颗粒撞击数	Sensit: Redlands, CA, USA
沙尘水平通量	Big Spring Number Eight (BSNE) sampler tower

2.2 数据分析

临界摩阻风速的表达式为:

$$u_{*t}(d,\lambda,w) = u_{*ts}(d) f_\lambda(\lambda) f_w(w) \qquad (1)$$

M 方案:

$$u_{*ts}(d) = \begin{cases} \dfrac{0.129K}{\sqrt{1.928B^{0.092}-1}}, & (0.03 < B < 10) \\ 0.129K(1-0.0858\exp[-0.0617\times(B-10)]), & (B > 10) \end{cases} \qquad (2)$$

$$f_\lambda = \left\{1 - \left[\frac{\ln(z_0/z_{0s})}{\ln[0.7(12\,255\text{cm}/z_{0s})^{0.8}]}\right]\right\}^{-1} \qquad (3)$$

$$f_w = \begin{cases} 1 (w < w') \\ (1+1.21(w-w')^{0.68})^{0.5} (w > w') \end{cases} \qquad (4)$$

S 方案:

$$u_{*ts}(d) = \left[A_N\left(\frac{\sigma g d}{\rho} + \frac{\varepsilon}{\rho d}\right)\right]^{0.5} \qquad (5)$$

$$f_\lambda(\lambda) = (1 - m_r\sigma_r\lambda)^{0.5}(1 + m_r\beta_r\lambda)^{0.5} \qquad (6)$$

$$f_w(w) = \begin{cases} e^{22.7w}(w < 0.03) \\ e^{95.3w-2.03}(w > 0.03) \end{cases} \quad (7)$$

式中：$u_{*t}(d)$为临界摩阻速度；$f_\lambda(\lambda)$ 为粗糙度元素修正方程；$f_w(w)$ 是土壤湿度修正方程。本研究中作者仅考虑土壤湿度的影响，因此，$f_\lambda(\lambda)$为常数1。

M 方案中：B 为摩擦雷诺数[$B = ad^x + b$，其中 a（1 331 cm^{-x}），b（0.38），x（1.56）；$K = [(\sigma gd/\rho)^{0.5}(1 + 0.006/\sigma g(d)^{2.5})]^{0.5}$；$g$ 为重力加速度（9.81 $m \cdot s^{-2}$）；σ 为沙粒密度（2 650 $kg \cdot m^{-3}$）；ρ 为空气密度（1.03 $kg \cdot m^{-3}$）；d 为平均粒径（147 μm）；w 为土壤湿度的重力含水量；w'为临界土壤湿度的重力含水量［$w' = 0.0014(\%clay)^2 + 0.17(\%clay)$］。

S 方案中，A_N（0.012 3）、ε（0.165 $g \cdot s^{-2}$）、c（0.8）都为常数，g，σ，ρ 和 d 和 M 方案中相同，w 为土壤湿度体积含水量。

$$u_t = \frac{u_{*t}}{k}\ln\frac{z}{z_0} \quad (8)$$

式中：u_{*t}为临界摩阻速度；u_t 为临界起沙风速；k 为卡曼常数（0.4）；z 为高度（2 m）；z_0 为空气动力学粗糙度（3.265 × 10^{-3} m）。

沙尘水平通量的表达式为[27]：

$$Q = \frac{Ec\rho u_*^3}{g}\left[1 - \left(\frac{u_{*t}}{u_*}\right)^2\right] \quad (9)$$

式中：E 地表侵蚀率；c 为常数（0.8），其他参数与之前类同。

3 结果与分析

3.1 沙尘天气分类

利用沙尘通量监测仪和常规气象要素之间的关系，获取以沙尘撞击颗粒数为基础的沙尘暴监测指标。塔克拉玛干沙漠腹地安装水平能见度仪（USA，BF～600），与沙尘通量监测仪、10 m 梯度铁塔组成完整的观测系统。数据采集间隔为 1 s，并从 1 s 数据中得出了 5 min 数据。选取 2009 年 5 月～2010 年 5 月的观测数据进行分析，得出如图 2 所示的在不同能见度条件下沙尘撞击颗粒数频率分布图。

为了进行深入细致的研究，对观测得到的原始 5min 数据按照能见度≤200 m、200～500 m、≤500 m、500～1 000 m、≤1 000 m、1 000～10 000 m、≤10 000 m、>10 000m 进行分类。颗粒物撞击数按照 0～1 000，1 001～2 000，2 001～3 000，3 001～4 000，4 001～5 000，5 001～6 000，6 001～7 000，7 001～8 000，8 001～9 000，9 001～10 000，10 001～20 000，20 001～40 000，40 001～60 000，60 001～80 000，80 001～100 000，100 001～150 000，150 001～200 000 区间进行频率分布统计分析。由图 2 的分析结果可以看出，能见度≥10.0 km 的非沙尘天气期间，也存在着风沙活动，其沙尘撞击颗粒数量级一般在 10 000 以下；能见度<10.0 km 的沙尘天气活动期间，其沙尘撞击颗粒数在 10 000～150 000 之间，其中扬沙天气时沙尘撞击颗粒数主要集中在 10 000～20 000 之间，沙尘暴天气发生时沙尘撞击颗粒数主要集中在 20 000～40 000 之间。根据以上的分析给出如表 2 所示的野外沙尘天气监测指标。

3.2 临界起沙风速

基于表 2 给出的标准，将观测期间的天气进行分类，其中非沙尘天气 38 800 mins，扬沙天气 565 mins，沙尘暴天气 955 mins。根据 M 和 S 方案分别给出不同天气条件下的临界起沙风速（图 3）。

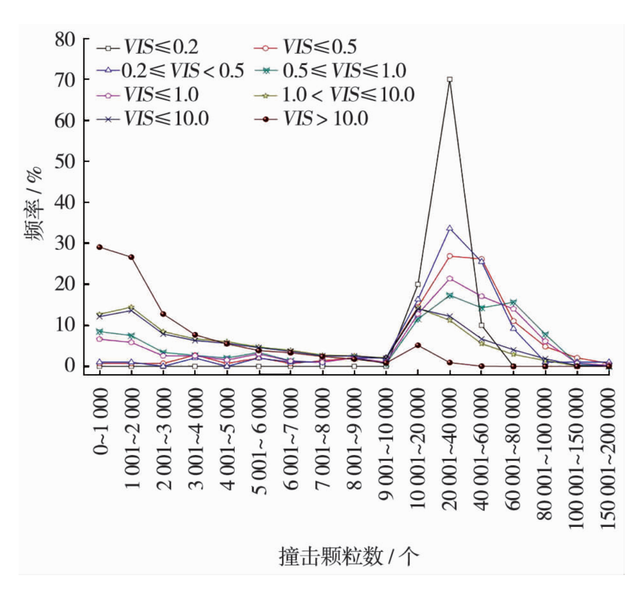


图 2 沙尘撞击颗粒数频率分布图

Fig. 2 Distribution of the frequency of saltation particles

表 2 沙尘天气指标

Tab. 2 Indicators of the sand and dust weather

天气类型	能见度分级	沙尘撞击颗粒数指标
非沙尘天气	VIS>10.0 km	≤10 000
扬沙	1.0<VIS≤10.0 km	10 001～20 000
沙尘暴	VIS≤1.0 km	≥20 001

注：沙尘撞击颗粒数指标仅限于传感器安装高度离地 5 cm 高度，传感器型号为 H11B 型

基于 M 方案,非沙尘天气,u_t 介于 4.86 ~ 4.97 m·s^{-1},平均值为 4.88 m·s^{-1};扬沙天气,u_t 介于 4.87 ~ 4.90 m·s^{-1},平均值为 4.88 m·s^{-1};沙尘暴天气,u_t 介于 4.87 ~ 4.89 m·s^{-1},平均值为 4.88 m·s^{-1}。基于 S 方案,非沙尘天气,u_t 介于 5.72 ~ 9.80 m·s^{-1},平均值为 6.24 m·s^{-1};扬沙天气,u_t 介于 5.80 ~ 6.73 m·s^{-1},平均值为 6.12 m·s^{-1};沙尘暴天气,u_t 介于 5.78 ~ 6.51 m·s^{-1},平均值为 6.17 m·s^{-1}。

由图 3 看出,S 方案给出的临界起沙风速明显高于 M 方案,但二者的变化趋势十分相似,在非沙尘、扬沙和沙尘暴天气下,二者的相关系数 R^2 分别为 0.985, 0.999 和 0.999。这两种临界起沙风速的

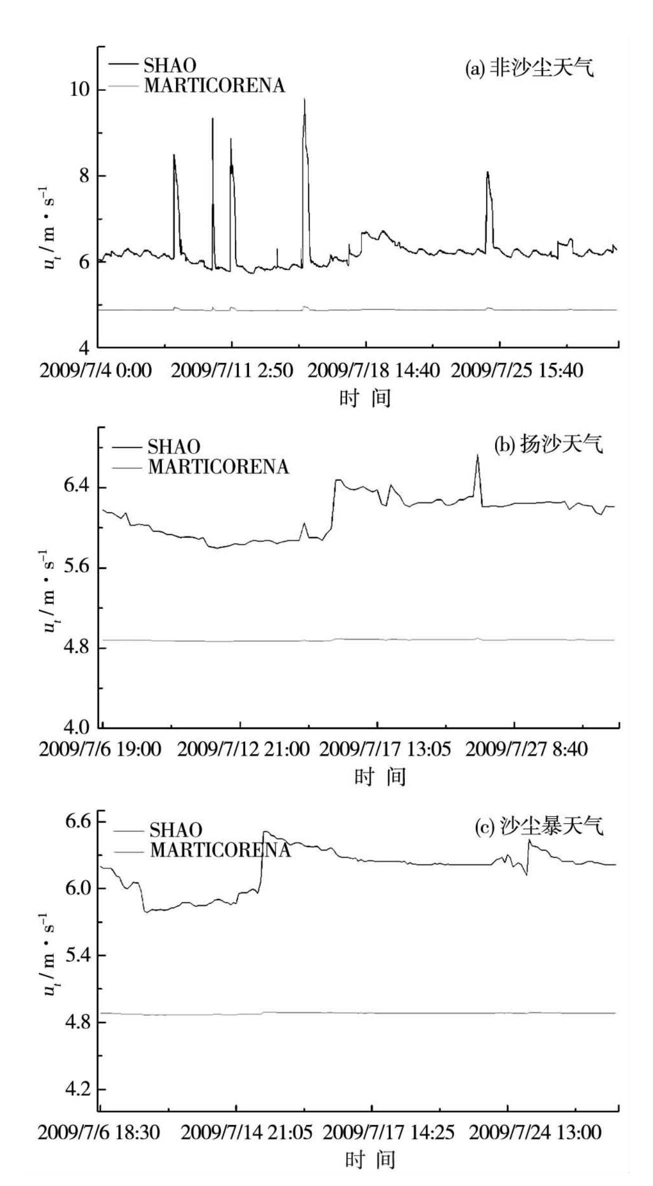


图 3 临界起沙风速

Fig. 3 Threshold velocity

获取都和 0.025 m 的土壤湿度相关,但 S 方案波动更为明显,尤其在较大土壤湿度条件下,相反 M 方案表现稳定。这与 ZHAO[28], DARMENOVA[29], KANG[30], YANG[31] 等人所得结论基本一致。从而看出 S 方案相对于 M 方案对土壤湿度表现更为敏感。

3.3 沙尘水平通量

在观测期间沙尘水平通量为 732.9 kg·m^{-1},其中非沙尘天气 125.2 kg·m^{-1},扬沙天气 80.9 kg·m^{-1},沙尘暴天气 526.8 kg·m^{-1}。因此沙尘暴天气下对沙尘水平通量的贡献最大,为 71.9%。在非沙尘天气下同样有风沙活动,它对沙尘水平通量的贡献为 17.1%,但这部分沙粒跃移活动主要集中在地表,对能见度并无影响。

图 4 给出了不同沙尘天气的沙尘水平通量。基于 M 方案给出的临界起沙风速获得的总沙尘水平通量为 1 279.6 kg·m^{-1},其中非沙尘天气 619.9 kg·m^{-1},扬沙天气 148.8 kg·m^{-1},沙尘暴天气 510.9 kg·m^{-1}。基于 S 方案给出的临界起沙风速获得的总水平沙尘通量为 655.3 kg·m^{-1},其中非沙尘天气 195.9 kg·m^{-1},扬沙天气 85.5 kg·m^{-1},沙尘暴天气 373.9 kg·m^{-1}。

通过对比可知,M 方案得到的总沙尘水平通量明显高于实际观测值,这是由于相对较小的临界风速对应较大的沙尘水平通量,S 方案得到的总沙尘水平通量与观测值更为接近。图 4 给出不同沙尘天气 2 种方案对应的沙尘水平通量与观测值之间的对比,在非沙尘和扬沙天气,M 方案得到的沙尘水平通量与实际观测值之间差别明显且都明显高于观测值,S 方案得到的结果更接近观测值。在沙尘暴天气,M方案对应的沙尘水平通量与实际观测值基本

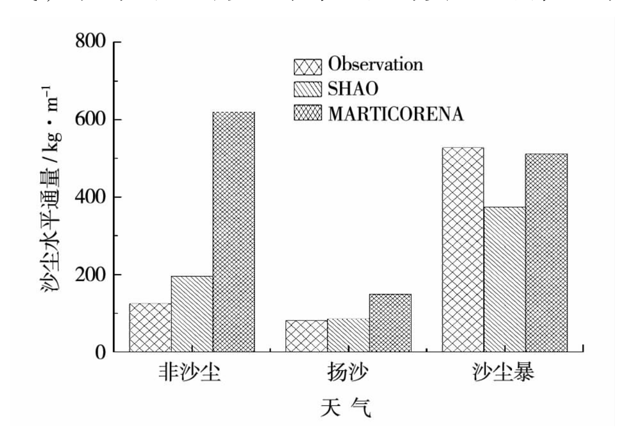


图 4 不同天气条件下的沙尘水平通量

Fig. 4 Horizontal dust flux with different dust weather

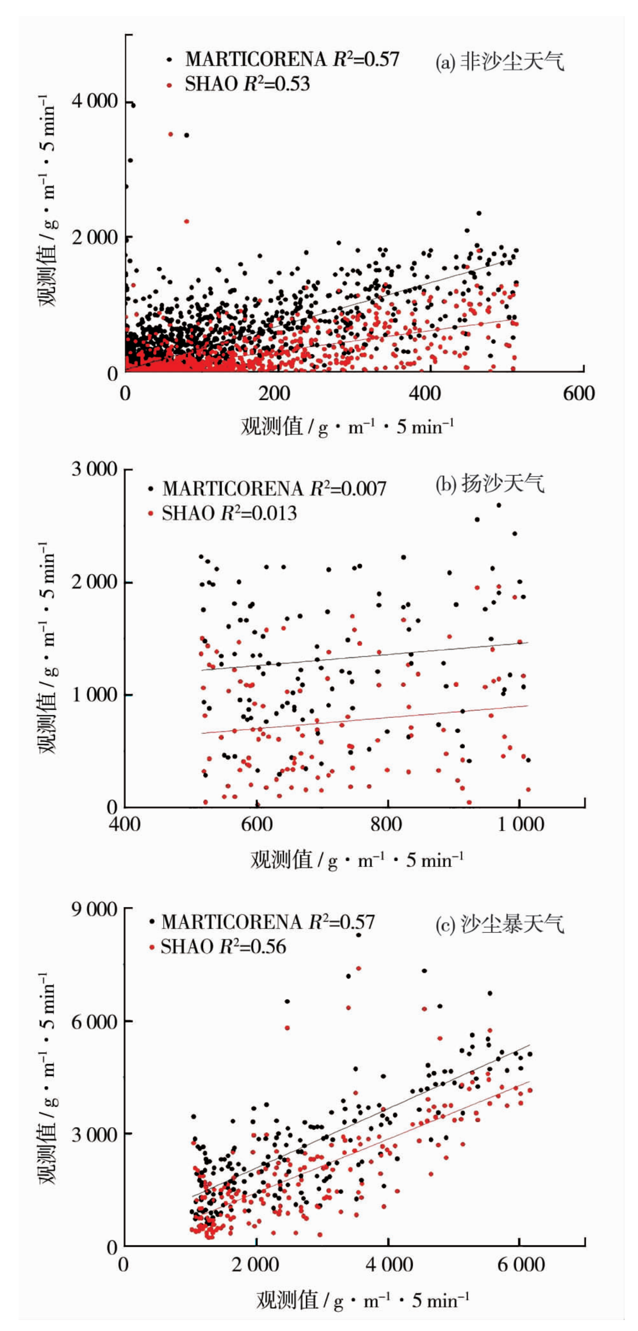


图 5 不同天气条件下的沙尘水平通量与观测值之间的相关性

Fig. 5 Correlations between the horizontal dust flux with different dust weather and the observations

一致,S 方案所得结果比观测值偏小。由沙尘水平通量的结果可知,S 方案适合估算总沙尘水平通量以及非沙尘和扬沙天气的沙尘水平通量,M 方案适合估算沙尘暴天气沙尘水平通量。同时说明,临界起沙风速在沙尘暴天气最小,非沙尘天气最大。

图 5 给出不同沙尘天气条件下的沙尘水平通量与观测值之间的相关性。在非沙尘和沙尘暴天气,观测值与估值之间表现出较好的相关性,在非沙尘天气,M 方案和 S 方案与观测值之间的相关系数 R^2 分别为 0.57 和 0.53,在沙尘暴天气,M 方案和 S 方案与观测值之间的相关系数 R^2 分别为 0.57 和 0.56。扬沙天气,M 方案和 S 方案估值与观测值之间的相关性较差,相关系数分别为 0.007 和 0.013。

4 讨论

目前,临界摩阻风速参数化方案多基于一定的物理简化和假设前提,但影响临界起沙阈值的众多因素都不能很好地定量表示,如土壤含盐量、土壤有机质含量、地表紧实度等。另外,理想条件下的经验系数和输入参数也较难准确地确定,如地表土壤粒径分布、植被覆盖等。这些因素将影响临界摩阻风速计算的准确性,影响风蚀起沙量估算的精确度。因此,在模式参数化方面,需要结合野外实验,加深对起沙的物理过程、起沙机理的理解,并进一步改进和完善临界起沙阈值参数化方案。MARTICORENA 和 SHAO 提出的 2 种起沙模式参数化方案主要考虑地表沙粒粒径、粗糙度、土壤湿度,地表条件和风速。大气环境相关参数,如气温、空气湿度、热扰动等都没有考虑,因此这 2 种方案都存在着一定的不足。很多研究表明大气环境对风蚀的影响很大,NEUMAN 指出,沙漠中沙粒跃移所需空气阻力在较冷环境比较热环境可减少 30%[32]。LI 和 ZHANG 指出,热扰动对风蚀活动的影响非常重要,贡献了大气湍流影响的 20%[33]。表 3 给出临界起沙风速与大气环境气象因子的相关关系,临界起沙风速与温度呈负相关,与相对湿度和水汽压呈正相关,所以在温度较高,相对湿度与水汽压较小的情况下更容易发生风沙活动。

5 结论

利用塔中野外试验观测站数据,基于2种不同

表 3 临界起沙风速与气象要素之间的相关关系

Tab. 3 Telationship between the threshold velocity and the meteorology elements

气象要素	MARTICORENA	SHAO
温度 / ℃	$y = -2.0467x + 41.98$	$y = -2.0467x + 41.98$
相对湿度 / %	$y = 10.559x - 45.708$	$y = 338.33x - 1631.8$
水汽压 / hPa	$y = 1.9595x - 4.7227$	$y = 62.282x - 296.6$

的起沙参数化方案,对研究区不同沙尘天气临界起沙风速进行分析和探讨,所得结论如下:

(1)利用水平能见度仪和颗粒撞击数给出了野外沙尘天气监测指标,非沙尘天气时,沙尘撞击颗粒数≤10 000;扬沙天气时,10 001≤沙尘撞击颗粒数≤20 000;沙尘暴天气时,沙尘撞击颗粒数≥20 001。

(2)基于 MARTICORENA 起沙参数化方案,临界起沙风速的平均值为4.88 $m \cdot s^{-1}$,基于 SHAO 起沙参数化方案,临界起沙风速的平均值为 6.24 $m \cdot s^{-1}$,临界起沙风速在非沙尘天气最大,在沙尘暴天气最小。

(3)在观测期间沙尘水平通量为 732.9 $kg \cdot m^{-1}$,其中非沙尘天气 125.2 $kg \cdot m^{-1}$,扬沙天气 80.9 $kg \cdot m^{-1}$,沙尘暴天气 526.8 $kg \cdot m^{-1}$,SHAO 起沙参数化方案适合估算总沙尘水平通量以及非沙尘和扬沙天气的沙尘水平通量,MARTICORENA 起沙参数化方案适合估算沙尘暴天气沙尘水平通量。

参考文献(References)

[1] HOFFMANN C, FUNK R, WIELAND R, et al. Effects of grazing and topography on dust flux and deposition in the Xilingele grassland, Inner Mongolia [J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72(5): 792-807.

[2] SHAO Y. Physics and modeling of wind erosion [M]. Nederland: Kluwer Academic Publishers, 2000.

[3] SHAO Y P, WYRWOLL K, CHAPPELL A, et al. Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science [J]. Aeolian Res, 2011, 2(4): 181-204.

[4] FRYEA D, BILBRO J, SALEH A, et al. RWEQ: Improved wind erosion technology [J]. Soil Water Conserv, 2000, 55, 183-189.

[5] 朱好,张宏升. 沙尘天气过程临界起沙因子的研究进展[J]. 地球科学进展, 2011, 26(1): 30-38. [ZHU Hao, ZHANG Hongsheng. Review of the threshold for dust emission during dust events [J]. Advances in Eerch Science, 2011, 26(1): 30-38.]

[6] LETTAU K, LETTAU H H. Experimental and micrometeorological studies of dune migration[M]//LETTAU K, LETTAU H H, Eds. Exploring the world's driest climate. University of Wisconsin Institute of Environmental Science, Madison, WI, USA, 1978: 110-147.

[7] MARTICORENA B, BERGAMETTI G. Modeling the atmospheric dust cycle. 1. Design of a soil-derived dust emission scheme[J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100(D8): 16415-16430.

[8] LI X L, KLOSE M, SHAO Y, et al. Convective turbulent dust emission (CTDE) observed over Horqin Sandy Land area and validation of a CTDE scheme[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2014, 119(16): 9980-9992.

[9] STOUT J E, ZOBECK T M. Intermittent saltation[J]. Sedimentology, 1997, 44(5): 959-970.

[10] STOUT J E. Effect of averageing time on the apparent threshold for Aeolian transport [J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39(3): 395-401.

[11] WIGGS G F S, ATHERTON R J, BAIRD A J. Thresholds of aeolian sandtransport: Establishing suitable values [J]. Sedimentology, 2004, 51(1): 95-108.

[12] 申彦波,沈志宝,杜明远,等. 风蚀起沙的影响因子及其变化特征[J]. 高原气象, 2005, 24(4): 611-616. [SHEN Yanbo, SHEN Zhibao, DU Mingyuan, et al. Factors affecting on dust emission by wind erosion and their variational characteristics[J]. Plateau Meteorology, 2005, 24(4): 611-616.]

[13] 申彦波,沈志宝,杜明远,等. 西北地区戈壁和绿洲风蚀起沙(尘)的研究[J]. 中国环境科学, 2004, 24(4): 390-394. [SHEN Yanbo, SHEN Zhibao, DU Mingyuan, et al. Studies on dust emission in gobi and oasis of northwest China[J]. China Environmental Science, 2004, 24(4): 390-394.]

[14] 王鹏祥,孙兰东,岳平,等. 盐池地区沙尘暴期间风沙运动若干特征研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1077-1079. [WANG Pengxiang, SUN Landong, YUE Ping, et al. Features of dust aerosol transportation during sandstorms over Yanchi Area of Ninxia Autonomous Region[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(6): 1077-1079.]

[15] 雷航,林朝晖,孙建华. 一个改进的沙尘天气数值预测系统及其模拟试验[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 669-683. [LEI Hang, LIN Chaohui, SUN Jianhua. An improved dust storm prediction system and its simulation experiments[J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(3): 669-683.]

[16] 周成龙,杨兴华,钟昕洁,等. 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘天气特征[J]. 干旱区研究, 2017, 34(2): 324-329. [ZHOU Chenglong, YANG Xinghua, ZHONG Xinjie, et al. Dust weather in hinterland of the Taklamakan Desert[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(2): 324-329.]

[17] 朱好,张宏升. 中国西北不同沙源地区起沙阈值的对比分析与研究[J]. 气象学报, 2010, 68(6): 977-984. [ZHU Hao, ZHANG Hongsheng. An estimation of the threshold friction velocities over the three different dust storm source areas in northwest China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2010, 68(6): 977-984.]

[18] 李晓岚,张宏升. 内蒙古科尔沁沙地起沙近地层动力学阈值的试验研究[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 38-46. [LI Xiaolan, ZHANG Hongsheng. Study on the threshold friction velocity of dust emission in Horqin Sand Land area in the Inner Mongolia[J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(1): 38-46.]

[19] 李晓岚,张宏升. 内蒙古科尔沁沙地临界起沙阈值的范围确定[J]. 气象学报, 2016, 74(1): 76-88. [LI Xiaolan, ZHANG Hongsheng. A study of determining dust emission thresholds over the Horqin Sand Land area in the Inner Mongolia[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2016, 74(1): 76-88.]

[20] SHAO Y P, LU H. A simple expression for wind erosion threshold friction velocity [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(D17): 22437-22443.

[21] GOUDIE A S. Dust storms in space and time [J]. Prog Phys Geogr, 1983, 7(4): 502-530.

[22] 李恒鹏,陈广庭.塔克拉玛干沙漠腹地复合沙垄间地新月形沙丘的逆向演变[J].中国沙漠,1999,19(2):134-138[LI Hengpeng,CHEN Guangting. Retrograde evolution of barchan on interdune corridor of complex ridges in central Taklimakan Desert[J]. Journal of Desert Research,1999,19(2):134-138.]
[23] 周成龙,杨兴华,霍文,等.塔克拉玛干沙漠腹地降水特征[J].中国沙漠,2017,37(2):343-348.[ZHOU Chenglong,YANG Xinghua,HUO Wen,et al. Characteristics of precipitation at the hinterland of the Taklimakan Desert[J]. Journal of Desert Research,2017,37(2):343-348.]
[24] 周成龙,钟昕洁,张仕明,等.塔克拉玛干沙漠腹地与周边地区降水及风沙环境对比分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(2):117-122.[ZHOU Chenglong,ZHONG Xinjie,ZHANG Shiming, et al. The comparison of precipitation and wind-blown sand environment over the hinterland of Taklimakan Desert with its surrounding regions[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2017,31(2):117-122.]
[25] 元天刚,陈思宇,康丽泰,等.1961—2010年中国北方沙尘源区沙尘强度时空分布特征及变化趋势[J].干旱气象,2016,34(6):927-935.[YUAN Tiangang,CHEN Siyu,KANG Litai, et al. Temporal and spatial distribution characteristics and change trends of dust intensity in dust source regions of northern China during 1961—2010[J]. Journal of Arid Meteorology,2016,34(6):927-935.]
[26] YANG X H,HE Q,MAMTIMIN A,et al. Near-surface sand-dust horizontal flux in Tazhong—the hinterland of the Taklimakan Desert[J]. J Arid Land,2013,5(2):199-206.
[27] OWEN P R. Saltation of uniform grains in air[J]. Journal of Fluid Mechanics,1964,20(2):225-242.
[28] ZHAO T L,GONG S L,ZHANG X Y,et al. An assessment of dust emission schemes in modeling east Asian dust storms[J]. J Geophys Res,2006,Doi:10.1029/2004JD005746.
[29] DARMENOVA K,SOKOLIK I N,SHAO Y,et al. Development of a physically based dust emission module within the Weather Research and Forecasting(WRF) model:Assessment of dust emission parameterizations and input parameters for source regions in central and East Asia[J]. J Geophys Res, 2009, Doi: 10.1029/2008JD011236.
[30] KANG J Y,YOON S C,SHAO Y,et al. Comparison of vertical dust flux by implementing three dust emission schemes in WRF/Chem[J]. J Geophys Res,2011,Doi:10.1029/2010JD014649.
[31] YANG X H,YANG F,LIU X C,et al. Comparison of horizontal dust fluxes simulated with two dust emission schemes based on field experiments in Xinjiang,China[J]. Theor Appl Climatol,2015,DOI:10.1007/s 00704-015-1573-0.
[32] NEUMAN C M. Effects of temperature and humidity upon the entrainment of sedimentary particles by wind[J]. Bound Layer Meteorol,2003,31:303-317.
[33] LI X L. Observation and parameterization on dust emission over Horqin Sandy Land area[D]. Beijing:Peking University,2014.

Critical threshold velocity of dust emission in Tazhong area based on the parameterization schemes

ZHOU Cheng-long, ALI Mamtimin, YANG Xing-hua, YANG Fan, HUO Wen, JIN Li-li, HE Qing
(*Institute of Desert Meteorology*,*Taklimakan Experimental Observation Station of Desert Atmosphere and Environment*, *Urumqi* 830002,*Xinjiang*,*China*)

Abstract: This paper is probed into the threshold velocity(u_t) calculation of Tazhong area,Taklimakan Desert, Xinjiang,China using the parameterization scheme. Firstly,we classified the dust weather combining the date of sand saltation,and then acquired the threshold velocity through the schemes of MARTICORENA and SHAO respectively. In order to test the accuracy of the u_t,we estimated the horizontal sand flux,and the results are as follows: (1) In the non-dust weather,the number of saltation particles was less than or equal to 10 000;when the sand blowing,the number of saltation particles was between 10 001 and 20 000;and in the sand storm,the number of saltation particles was more than 20 000. (2) The average threshold velocity was 4.88 $m \cdot s^{-1}$ with the parameterization scheme of MARTICORENA and the average threshold velocity was 6.24 $m \cdot s^{-1}$ with the parameterization scheme of SHAO,the threshold velocity was the highest in non-dust weather and the smallest in sand storm. (3) During the study period,the total horizontal dust flux was 732.9 $kg \cdot m^{-1}$,and the horizontal dust fluxes were 125.2,80.9 and 526.8 $kg \cdot m^{-1}$ in non-dust weather,the sand blowing and the sand storm respectively. The parameterization scheme of SHAO was suitable to estimate the horizontal dust flux in the study period,the non-dust weather and the sand blowing,while the parameterization scheme of MARTICORENA was suitable to estimate the horizontal dust flux of sand storm.

Key words: the threshold velocity; parameterization scheme; Tazhong